

PCT

WELTORGANISATION FÜR GEISTIGES EIGENTUM
Internationales BüroINTERNATIONALE ANMELDUNG VERÖFFENTLICHT NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE
INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS (PCT)(51) Internationale Patentklassifikation ⁶ :

H01L 21/265, 21/324, C30B 35/00

A1

(11) Internationale Veröffentlichungsnummer: WO 99/17345

(43) Internationales
Veröffentlichungsdatum:

8. April 1999 (08.04.99)

(21) Internationales Aktenzeichen:

PCT/DE98/02722

(22) Internationales Anmeldedatum:

14. September 1998
(14.09.98)

(30) Prioritätsdaten:

197 43 127.5

30. September 1997 (30.09.97) DE

(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten ausser US): SIEMENS
AKTIENGESELLSCHAFT [DE/DE]; Wittelsbacherplatz 2,
D-80333 München (DE).

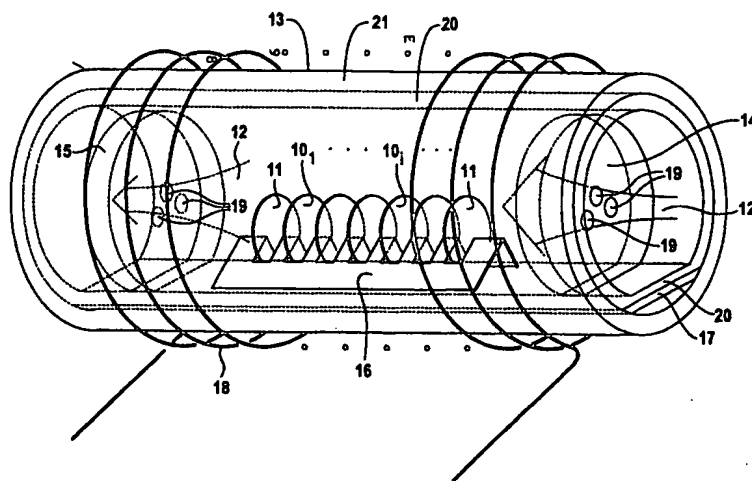
(72) Erfinder; und

(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): HÖLZLEIN, Karlheinz
[DE/DE]; St. Georg-Strasse 38a, D-91315 Höchststadt
(DE). RUPP, Roland [DE/DE]; Am Wasserturm 35,
D-91207 Lauf (DE). WIEDENHOFER, Arno [DE/DE];
Langfeldstrasse 10, D-91058 Erlangen (DE).(74) Gemeinsamer Vertreter: SIEMENS AG; Postfach 22 16 34,
D-80506 München (DE).(81) Bestimmungsstaaten: CN, JP, US, europäisches Patent (AT,
BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU,
MC, NL, PT, SE).

Veröffentlicht

*Mit internationalem Recherchenbericht.**Vor Ablauf der für Änderungen der Ansprüche zugelassenen
Frist; Veröffentlichung wird wiederholt falls Änderungen
eintreffen.*

(54) Title: METHOD FOR THERMAL CURING OF IMPLANTATION-DOPED SILICON CARBIDE SEMICONDUCTORS

(54) Bezeichnung: VERFAHREN ZUM THERMISCHEN AUSHEILEN VON DURCH IMPLANTATION DOTIERTEN SILIZIUMCAR-
BID-HALBLEITERN

(57) Abstract

An implantation-doped silicon carbide conductor (10_i) is thermally cured in a gas flow (12) supplying practically no carbon to said conductor (10_i). In one advantageous embodiment, the container (13), carrier (16), radiation shields (4,5) and the base plate (17) are made of metal or a metal compound, e.g. tantalum or tantalum carbide, at least in the places which come into contact with the gas flow (12).

(57) Zusammenfassung

Ein durch Implantation dotierter Siliziumcarbid-Halbleiter (10_i) wird in einem Gasstrom (12), der praktisch keinen Kohlenstoff an den Siliziumcarbid-Halbleiter (10_i) heranführt, thermisch ausgeheilt. In einer vorteilhaften Ausführungsvariante bestehen der Behälter (13), der Träger (16), die Strahlungsschilde (14, 15) und die Bodenplatte (17) zumindest an den Stellen, die mit dem Gasstrom (12) in Kontakt treten, aus einem Metall oder einer Metallverbindung, wie z.B. aus Tantal oder aus Tantalcarbid.

LEDIGLICH ZUR INFORMATION

Codes zur Identifizierung von PCT-Vertragsstaaten auf den Kopfbögen der Schriften, die internationale Anmeldungen gemäss dem PCT veröffentlichen.

AL	Albanien	ES	Spanien	LS	Lesotho	SI	Slowenien
AM	Armenien	FI	Finnland	LT	Litauen	SK	Slowakei
AT	Österreich	FR	Frankreich	LU	Luxemburg	SN	Senegal
AU	Australien	GA	Gabun	LV	Lettland	SZ	Swasiland
AZ	Aserbaidshan	GB	Vereinigtes Königreich	MC	Monaco	TD	Tschad
BA	Bosnien-Herzegowina	GE	Georgien	MD	Republik Moldau	TG	Togo
BB	Barbados	GH	Ghana	MG	Madagaskar	TJ	Tadschikistan
BE	Belgien	GN	Guinea	MK	Die ehemalige jugoslawische Republik Mazedonien	TM	Turkmenistan
BF	Burkina Faso	GR	Griechenland	ML	Mali	TR	Türkei
BG	Bulgarien	HU	Ungarn	MN	Mongolei	TT	Trinidad und Tobago
BJ	Benin	IE	Irland	MR	Mauretanien	UA	Ukraine
BR	Brasilien	IL	Israel	MW	Malawi	UG	Uganda
BY	Belarus	IS	Island	MX	Mexiko	US	Vereinigte Staaten von Amerika
CA	Kanada	IT	Italien	NE	Niger	UZ	Usbekistan
CF	Zentralafrikanische Republik	JP	Japan	NL	Niederlande	VN	Vietnam
CG	Kongo	KE	Kenia	NO	Norwegen	YU	Jugoslawien
CH	Schweiz	KG	Kirgisistan	NZ	Neuseeland	ZW	Zimbabwe
CI	Côte d'Ivoire	KP	Demokratische Volksrepublik Korea	PL	Polen		
CM	Kamerun	KR	Republik Korea	PT	Portugal		
CN	China	KZ	Kasachstan	RO	Rumänien		
CU	Kuba	LC	St. Lucia	RU	Russische Föderation		
CZ	Tschechische Republik	LI	Liechtenstein	SD	Sudan		
DE	Deutschland	LK	Sri Lanka	SE	Schweden		
DK	Dänemark	LR	Liberia	SG	Singapur		
EE	Estland						

Beschreibung

Verfahren zum thermischen Ausheilen von durch Implantation dotierten Siliziumcarbid-Halbleitern

5

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum thermischen Ausheilen von wenigstens einem durch Implantation dotierten Siliziumcarbid-Halbleiter in einem Gasstrom.

- 10 Siliziumcarbid (SiC) vorzugsweise in einkristalliner Form ist ein Halbleitermaterial mit hervorragenden physikalischen Eigenschaften, die dieses Halbleitermaterial besonders für die Optoelektronik, die Hochtemperaturelektronik und die Leistungselektronik interessant machen. Während Siliziumcarbid-
15 Leuchtdioden schon auf dem Markt erhältlich sind, gibt es kommerzielle Leistungshalbleiterbauelemente auf Siliziumcarbid-Basis bislang noch nicht. Dies liegt vor allem an der aufwendigen und teuren Herstellung geeigneter Siliziumcarbid-Substrate (Wafer) und der im Vergleich zu Silizium schwierigeren Prozeßtechnologie.
20

- Eines der Probleme stellt die Dotierung von einkristallinem Siliziumcarbid dar. Wegen der erforderlichen hohen Temperaturen von über 1800°C ist ein Dotieren von Siliziumcarbid durch
25 Diffusion anders als bei Silizium praktisch nicht möglich. Deshalb wird einkristallines Siliziumcarbid entweder durch Zugabe von Dotierstoffen während des Wachstums, insbesondere während der Sublimationszüchtung (PVD) oder der chemischen Gasphasenabscheidung (CVD), oder durch Implantation von Dotierstoffionen (Ionenimplantation) dotiert.
30

- Die Implantation von Dotierstoffionen in einkristalline Siliziumcarbid-Substrate oder in eine vorher gewachsene Siliziumcarbid-Epitaxieschicht erlaubt eine gezielte laterale Variation der Dotierstoffkonzentration, so daß die Herstellung von
35 Halbleiterbauelementen mit planar strukturierter Oberfläche möglich ist. Dies stellt eine Grundvoraussetzung für die Fer-

tigung der meisten Halbleiterbauelemente dar. Problematisch bei der Dotierung durch Implantation sind jedoch Kristalldefekte (Gitterdefekte, Kristallfehlordnungen), die durch die mit hoher kinetischer Energie implantierten Dotierstoffatome in dem Siliziumcarbid-Kristall der Epitaxieschicht entstehen und die die elektronischen Eigenschaften des implantierten Halbleitergebiets und damit des ganzen Bauelements verschlechtern. Außerdem sind die Dotierstoffatome oder -atomrümpfe nach der Implantation nicht optimal in das Siliziumcarbid-Kristallgitter eingebaut und somit nur zum Teil elektrisch aktiviert.

Es sind deshalb Verfahren entwickelt worden, mittels derer die durch die Implantation entstandenen Kristalldefekte durch thermische Behandlung auszuheilen sind und zugleich ein hoher Aktivierungsgrad der Dotierstoffatome zu erreichen ist (sogenannte thermische Ausheilverfahren oder „Thermal Annealing“).

Aus „IEEE Electronic Device Letters“, Vol. 13, 1992, Seiten 639 bis 641 ist ein Verfahren zum thermischen Ausheilen eines durch Implantation von Stickstoffionen bei hohen Implantationstemperaturen zwischen 500°C und 1000°C n-dotierten 6H-Siliziumcarbid-Halbleitergebiets in einer mit Aluminium p-dotierten 6H-Siliziumcarbid-Epitaxieschicht bekannt. Bei diesem Verfahren wird der 6H-Siliziumcarbid-Halbleiter bei einer konstanten Ausheiltemperatur zwischen 1100°C und 1500°C in einer Argon-Atmosphäre behandelt. Um eine Zerstörung der Oberfläche durch unkontrolliertes Abdampfen mit der Bildung von Kratern und Höhlungen zu vermeiden, wird der 6H-Siliziumcarbid-Halbleiter in einen Tiegel aus Siliziumcarbid eingebracht. Während der Wärmebehandlung steht die Oberfläche des 6H-Siliziumcarbid-Halbleiters im Gleichgewicht mit der Siliziumcarbid-Atmosphäre im Tiegelinneren.

In „Applied Surface Science“, Bd. 99, 1996, Seiten 27 bis 33 wird dagegen der Einfluß der Gaszusammensetzung beim Abkühl-

vorgang eines chemischen Gasphasenabscheideprozesses (LPCVD = Low Pressure Chemical Vapor Deposition) an Siliziumcarbid-Halbleitern beschrieben. Der Abkühlvorgang startet bei einer Maximaltemperatur von 1450°C, die somit den Temperaturen beim thermischen Ausheilen nach der Ionenimplantation vergleichbar ist. Deshalb lassen sich die erzielten Resultate auch auf die thermischen Ausheilprozesse nach der Ionenimplantation übertragen. In den zitierten Untersuchungen wurde festgestellt, daß bei Temperaturen über 1000°C im Vakuum oder unter Schutzgas die oberflächennahen Siliziumcarbid-Atomlagen an Silizium verarmen, und sich eine dünne Graphitschicht auf der Oberfläche des Siliziumcarbid-Halbleiters ausbilden kann. Wird der gleiche Prozeß dagegen unter einer reinen Wasserstoffatmosphäre durchgeführt, so resultiert eine nahezu stöchiometrische Oberfläche.

Der Erfindung liegt nun die Aufgabe zugrunde, ein gegenüber dem Stand der Technik verbessertes Verfahren zum thermischen Ausheilen von durch Implantation dotierten Siliziumcarbid-Halbleitern anzugeben, bei dem die Ausbildung bzw. das Zusammenlagern unerwünschter kristallographisch orientierter Stufen reduziert wird.

Diese Aufgabe wird gemäß der Erfindung mit den Merkmalen des Anspruchs 1 gelöst. Das Ausheilverfahren ist also derart zu gestalten, daß dem wenigstens einen Siliziumcarbid-Halbleiter über den Gasstrom praktisch kein Kohlenstoff zugeführt wird. Unter „praktisch kein Kohlenstoff“ ist in diesem Zusammenhang ein kleinerer Kohlenstoffanteil als der, der dem Gleichgewichtspartialdruck von Kohlenstoff oder kohlenstoffhaltigen Komponenten (z.B. SiC_2) über dem Siliziumcarbid-Halbleiter bei der jeweiligen Prozeßtemperatur entspricht, zu verstehen.

Die Erfindung beruht dabei auf der Erkenntnis, daß sich die bei fehlorientierten Siliziumcarbid-Oberflächen von beispielsweise epitaktisch aufgebrachtten Schichten oder von einkristallinen Substraten immer vorhandenen, im Idealfall nur

- ein bis zwei Monolagen hohen, kristallographisch orientierten Stufen aufgrund einer thermisch aktivierten Oberflächenumverteilung in unerwünschter Weise bis zu einer Stufenhöhe von etwa 50 nm zusammenlagern (step benching), wenn während des
- 5 thermischen Ausheilvorganges der Siliziumcarbid-Halbleiter mit einer Siliziumcarbid-Atmosphäre im Gleichgewicht steht, oder der zugeführte Gasstrom diesem Gleichgewichtszustand mindestens vergleichbare Kohlenstoffanteile enthält. Hierbei konglomerieren viele kleine zu wenigen hohen kristallogra-
- 10 phisch orientierten Stufen. Die kleinen, etwa zwei Monolagen hohen, kristallographisch orientierten Stufen sind eine unvermeidbare Folge der für epitaktisches Schichtwachstum notwendigen Fehlorientierung der Basis-Siliziumcarbid-Kristalle. Es wurde gefunden, daß durch eine Reduzierung des Fremdkohlenstoffanteiles im Gasstrom, d.h. des Kohlenstoffanteiles,
- 15 der dem Siliziumcarbid-Halbleiter von außen zugeführt wird, das beschriebene Stufenwachstum erheblich eingeschränkt werden kann.
- 20 Bei erfindungsgemäßer Ausführung des Gasstroms resultieren somit nach dem thermischen Ausheilen Stufenhöhen, die gegenüber dem Stand der Technik deutlich niedriger, insbesondere mindestens um den Faktor 3 niedriger liegen.
- 25 Vorteilhafte Ausgestaltungen und Weiterbildungen des thermischen Ausheilverfahrens gemäß der Erfindung ergeben sich aus den vom Anspruch 1 abhängigen Ansprüchen.
- In einer besonders vorteilhaften Ausführungsform wird zumindest die Oberfläche des dotierten Bereichs des Siliziumcar-
- 30 bid-Halbleiters einem Gasstrom ausgesetzt, der vorzugsweise zumindest ein Inertgas und/oder Stickstoff und/oder Wasserstoff enthält. Die Gasstromzusammensetzung kann während des Ausheilens geändert werden, beispielsweise von einer Inert-
- 35 gaszusammensetzung hin zu einer wasserstoffhaltigen Zusammensetzung oder sogar in praktisch reinen Wasserstoff. Vorteilhaft verwendet man als Inertgase Argon oder Helium mit Volu-

menanteilen von bis zu annähernd 100%. Eine bevorzugte Variante der Prozeßführung besteht darin, daß in einem Inertgasstrom aufgeheizt, dann auf einer annähernd konstanten Maximaltemperatur gehalten und anschließend in einem Gasstrom mit einem Wasserstoffanteil von typischerweise mindestens 50%, insbesondere mehr als 80% und vorzugsweise über 95% abgekühlt wird. Durch die Abkühlung in Wasserstoffatmosphäre erreicht man eine stöchiometrisch nahezu intakte Oberfläche des Siliziumcarbid-Halbleiters, wohingegen ein Abkühlen in z.B. Argonatmosphäre gegebenenfalls aufgrund einer Siliziumverarmung zu einer dünnen Graphitschicht auf der Oberfläche des Siliziumcarbid-Halbleiters führen kann.

Um ein Austreten von Dotierstoffatomen aus dem Siliziumcarbid-Halbleiter zu verhindern, können in einer weiteren vorteilhaften Ausführungsform dem Gasstrom Atome unter einem vorgegebenen Gaspartialdruck zugesetzt werden, die auch zur Dotierung verwendet wurden.

Die Strömungsgeschwindigkeit des Gasstromes wird vorzugsweise zwischen etwa 0,5 cm/s und etwa 60 cm/s, insbesondere zwischen 5 cm/s und 25 cm/s eingestellt. Es hat sich gezeigt, daß ein unter einem solchen Gasstrom ausgeheiltes Siliziumcarbid-Halbleiter eine deutlich bessere Oberfläche aufweist als ein in einem Gasstrom mit anderer Strömungsgeschwindigkeit ausgeheiltes Siliziumcarbid-Halbleiter. Das Bestromen des Siliziumcarbid-Halbleiters während des Ausheilens hat den Vorteil, daß im Gegensatz zu den bekannten Ausheilverfahren trotz der hohen Temperaturen die Oberfläche eine morphologisch gute Qualität aufweist, und die von der Fehlorientierung der Siliziumcarbid-Oberfläche herrührenden kristallographischen Stufen im wesentlichen erhalten bleiben und sich nicht zu größeren Stufen zusammenlagern, sowie auch keine sonstigen Oberflächenrauigkeiten entstehen. Der genannte bevorzugte Bereich für die Strömungsgeschwindigkeit gewährleistet, daß die Strömungsgeschwindigkeit einerseits klein genug ist, um eine unzulässige Kühlung des Siliziumcarbid-Halb-

leiters zu vermeiden, und andererseits groß genug, um aus dem Siliziumcarbid-Halbleiter austretende Kohlenstoff- und Siliziumatome abzutransportieren, so daß sie nicht zu einem unerwünschten Stufenwachstum beitragen können.

5

Der statische Prozeßdruck in einem wenigstens an den Siliziumcarbid-Halbleiter angrenzenden Bereich der Gasatmosphäre wird im allgemeinen vorteilhaft zwischen etwa 5000 Pa und etwa 100000 Pa (Normaldruck) und vorzugsweise zwischen etwa 10000 Pa und etwa 50000 Pa eingestellt. Der eingestellte Unterdruck gewährleistet eine besonders gute Unterdrückung des unerwünschten Wachstums der kristallographisch orientierten Stufen.

10

15

In einer weiteren, vorteilhaften Ausgestaltung wird der Siliziumcarbid-Halbleiter im Innern eines Behälters angeordnet, der vorzugsweise über eine HF(Hochfrequenz)-Induktionsspule beheizt werden kann. Der Siliziumcarbid-Halbleiter wird im Behälterinneren vorzugsweise durch einen Träger gehalten. Im Behälterinneren werden außerdem vorzugsweise jeweils mindestens ein Strahlungsschild bezogen auf die Gasstromrichtung vor und hinter dem Träger plaziert, um eine unerwünschte Wärmeabstrahlung aus dem Behälterinneren zu verhindern. In den Strahlungsschilden werden vorzugsweise Öffnungen für den

20

25

Durchtritt des Gasstroms vorgesehen. Zumindest in den Bereichen, die mit dem Gasstrom in Kontakt treten, bestehen der Träger, die Strahlungsschilde und der Behälter, beispielsweise wenigstens Teile der Behälterinnenwand, vorteilhaft aus wenigstens einem Metall oder wenigstens einer Metallverbindung oder sind zumindest mit denselben ausgekleidet bzw.

30

überzogen. Das Metall oder die Metallverbindung sollte wegen der hohen Prozeßtemperaturen beim thermischen Ausheilen vorteilhaft erst über 1800°C schmelzen. Das Metall oder die Metallverbindung sollte bei der maximalen Temperatur von 1800°C

35

vorteilhaft einen Dampfdruck von kleiner als 10^{-2} Pa (ca. 10^{-7} atm) aufweisen. Das Metall oder die Metallverbindung sollte wegen der vorgesehenen Wasserstoffanteile im Gasstrom

vorteilhaft resistent gegen Wasserstoff sein. Metalle oder Metallverbindungen, die mindestens eines der Materialien Tantal, Wolfram, Molybdän, Niob, Rhenium, Osmium, Iridium oder deren Carbide enthalten, lassen sich somit besonders vorteilhaft einsetzen. Teile des Behälters, die nicht mit dem Teil des Gasstroms, der den Siliciumcarbid-Halbleiter erreicht, in Kontakt treten, können auch aus anderen Materialien wie beispielsweise Graphit oder Siliciumcarbid bestehen. Alle bislang nicht aufgeführten, gegebenenfalls aber im heißen Bereich vorhandenen Teile, die mit dem Gasstrom in Kontakt treten, sollten ebenfalls vorzugsweise aus den genannten vorteilhaften Metallen oder Metallverbindungen bestehen oder zumindest mit denselben überzogen sein. Durch die beschriebenen vorteilhaften Materialauswahl wird gewährleistet, daß der vorbeifließende Gasstrom keine Kohlenstoffatome aus den Kontaktflächen, wie Behälterinnenwand oder Trägeroberfläche, herauslöst oder ausgetretene Kohlenstoffatome aufnimmt und an den Siliciumcarbid-Halbleiter heranführt.

In einer besonders vorteilhaften Ausführungsform des Verfahrens wird ein durch Implantation dotierter Siliziumcarbid-Halbleiter durch Zufuhr von Wärme auf eine Maximaltemperatur von wenigstens 1000°C gebracht. Die zeitliche Zunahme der Temperatur (Aufheizgeschwindigkeit) wird während dieses Aufheizprozesses im allgemeinen auf höchstens 100°C/min, vorzugsweise auf maximal 30°C/min beschränkt.

Die Maximaltemperatur wird vorteilhaft zwischen 1100°C und 1800°C, vorzugsweise zwischen 1400°C und 1750°C eingestellt.

Vorteilhaft wird der Siliziumcarbid-Halbleiter für ein vorgegebenes Zeitintervall von vorzugsweise zwischen 2 min und 60 min, insbesondere zwischen 15 min und 30 min wenigstens annähernd auf der Maximaltemperatur gehalten. Dieses Hochtemperaturplateau bringt eine Verbesserung des Aktivierungsgrades von Dotierstoffen im Siliziumcarbid-Halbleiter.

Die Abkühlgeschwindigkeit wird vorteilhaft auf höchstens 100°C/min, insbesondere auf maximal 30°C/min begrenzt. Der langsame Abkühlvorgang endet zweckmäßigerweise bei einer Zwischentemperatur, die vorzugsweise unterhalb von 600°C liegt.

- 5 Die Beschränkung der Temperaturänderungsraten (Aufheiz- und Abkühlgeschwindigkeiten) führt zu verbesserten elektrischen Eigenschaften des durch Implantation dotierten und danach ausgeheilten Siliziumcarbid-Halbleiters.
- 10 Die Aufheiz- und/oder Abkühlgeschwindigkeit müssen nicht konstant sein, sondern können vorteilhaft auch innerhalb von Bereichen variieren, die durch eine Obergrenze von 100°C/min und insbesondere durch eine Obergrenze von 30°C/min festgelegt sind.
- 15 In einer besonderen Weiterbildung des Verfahrens wird während des Aufwärm- und Abkühlvorganges die Temperatur des Siliziumcarbid-Halbleiters jeweils wenigstens einmal jeweils auf einem vorgegebenen Temperaturniveau gehalten. Die Aufwärm- bzw.
- 20 Abkühlgeschwindigkeit ist während der Verweildauer auf diesem Temperaturniveau praktisch 0°C/min.

- Ausführungsbeispiele für ein thermisches Ausheilverfahren gemäß der Erfindung werden nachfolgend anhand der Zeichnung erläutert. Es zeigen jeweils in einer schematischen Darstellung
- 25 FIG 1 perspektivisch einen Behälter, in dessen Innerem sich wenigstens ein Siliziumcarbid-Halbleiter zum thermischen Ausheilen der durch eine vorangegangene Implantation verursachten Gitterdefekte befindet
- 30 und
- FIG 2 als Längsschnitt die Anordnung von FIG 1.
- Einander entsprechende Teile sind in den FIG 1 und 2 mit denselben Bezugszeichen versehen.

- 35 In FIG 1 ist ein Behälter 13 perspektivisch dargestellt, in dessen Innenraum sich beispielsweise mehrere Siliziumcarbid-Halbleiter 10_i (mit i=1,...) zum thermischen Ausheilen nach

einer vorangegangenen Ionenimplantation befinden. FIG 2 zeigt einen Längsschnitt durch die Anordnung von FIG 1. Der Behälter 13 ist in der gezeigten Ausführungsform zylindrisch ausgebildet, er kann jedoch auch genauso gut mit einer anderen
5 geometrischen Form, beispielsweise als längsgestreckter Quader, aufgebaut werden.

Die Siliziumcarbid-Halbleiter 10₁ gemäß FIG 1 und 2 können vor dem dargestellten thermischen Ausheilen mit den folgenden
10 nacheinander auszuführenden Verfahrensschritten hergestellt worden sein:

1. Bereitstellen eines einkristallinen Siliziumcarbid-Substrats,
2. optional: Epitaktisches Aufwachsen einer Siliziumcarbid-
15 Schicht auf dem Substrat,
3. Erzeugen von mindestens einem Dotierungsgebiet durch gegebenenfalls mehrmalige, sukzessive Implantation von Dotierungsatomen.

20 Zum Bereitstellen des Siliziumcarbid-Substrats wird vorzugsweise ein Sublimationszüchtungsprozeß verwendet. Das Siliziumcarbid-Substrat besteht im wesentlichen aus einem einzigen Siliziumcarbid-Polytyp, insbesondere aus Beta-Siliziumcarbid (3C-Siliziumcarbid, kubisches Siliziumcarbid) oder einem der
25 Polytypen von Alpha-Siliziumcarbid (hexagonales oder rhomboedrisches Siliziumcarbid). Bevorzugte Polytypen für das Siliziumcarbid-Substrat sind die Alpha-Siliziumcarbid-Polytypen 4H, 6H und 15R.

30 Zum Abscheiden der Siliziumcarbid-Schicht auf dem Siliziumcarbid-Substrat wird ein an sich bekanntes Epitaxieverfahren, vorzugsweise eine Epitaxie durch chemische Gasphasenabscheidung (Chemical Vapour Deposition = CVD), verwendet. Beispielsweise kann ein CVD-Epitaxieverfahren verwendet werden
35 gemäß der US-A-5,011,549. Aufgrund des epitaktischen Wachstums ist die Siliziumcarbid-Schicht ebenso wie das Siliziumcarbid-Substrat einkristallin und damit halbleitend. Wenn die

Wachstumsbedingungen bei der Epitaxie entsprechend eingestellt werden, ist die Siliziumcarbid-Schicht auch von einem einzigen Polytyp, der gleich dem Polytyp des Siliziumcarbid-Substrats ist. Besteht das Siliziumcarbid-Substrat aus Alpha-Siliziumcarbid, so wird es im allgemeinen vor dem Abscheiden der Siliziumcarbid-Schicht beispielsweise durch Schneiden und/oder Schleifen so präpariert, daß die als Wachstumsfläche vorgesehene Oberfläche des Substrats in einem Winkel zwischen etwa 1° und etwa 12° von der (0001)-Ebene abweichend geneigt ist, vorzugsweise in Richtung zu einer der $\langle 11\bar{2}0 \rangle$ -Kristallrichtungen. Durch eine solche „Fehlorientierung“ („off-orientation“) der Wachstumsfläche gegenüber den natürlichen Kristallflächen (basal planes), nämlich der als Silizium-Seite bezeichneten (0001)-Kristallfläche oder der als Kohlenstoff-Seite bezeichneten $(000\bar{1})$ -Kristallfläche, wird in Verbindung mit geeigneten Wachstumstemperaturen von typischerweise 1500°C erreicht, daß die Siliziumcarbid-Schicht vom gleichen Alpha-Siliziumcarbid-Polytyp wie das Siliziumcarbid-Substrat ist und insbesondere keine Syntaxie zeigt. Die Siliziumcarbid-Schicht kann durch Zugabe von entsprechenden Dotierstoffverbindungen während des Wachstums gemäß einem gewünschten Leitungstyp dotiert werden.

Zum Erzeugen von verschiedenen Dotierungsgebieten wird ein Implantationsverfahren verwendet, bei dem einer oder mehrere Dotierstoffe in die Siliziumcarbid-Halbleiter 10_i eingebracht werden. Zunächst können die Siliziumcarbid-Halbleiter 10_i mit Implantationsmasken versehen werden. Dann werden die Siliziumcarbid-Halbleiter 10_i in eine nicht dargestellte Implantationsanlage eingebracht. In der Implantationsanlage werden die Oberflächen der Siliziumcarbid-Halbleiter 10_i mit Ionen eines oder mehrerer Dotierstoffe mit Energien von typischerweise zwischen 10 keV und einigen 100 keV abhängig von den verwendeten Dotierstoffen und der gewünschten Eindringtiefe beschossen. Die Siliziumcarbid-Halbleiter 10_i werden während der Implantation auf Temperaturen aus einem Bereich zwischen

etwa 20°C (Raumtemperatur) und etwa 1200°C gehalten, vorzugsweise zwischen etwa 20°C und etwa 600°C.

5 Durch die mit hoher Energie in den Siliziumcarbid-Kristall der Siliziumcarbid-Schicht eindringenden Dotierstoffteilchen wird das Siliziumcarbid-Kristallgitter in den verschiedenen Dotierungsgebieten der Siliziumcarbid-Halbleiter 10_i geschädigt. Zur wenigstens teilweisen „Reparatur“ und Erholung der durch die Implantation entstandenen Kristalldefekte werden
10 die Siliziumcarbid-Halbleiter 10_i nun mit einem thermischen Ausheilverfahren ausgeheilt.

Zum thermischen Ausheilen werden die Siliziumcarbid-Halbleiter 10_i in den Behälter 13 einer nicht dargestellten Ausheilanlage (Ausheilofen, Temperofen) eingebracht und auf einem Träger 16 in einem Gasstrom 12 im Behälter 13 angeordnet.
15

Außerhalb des Behälters 13 sind in den Figuren 1 und 2 nicht dargestellte Vorrichtungen zur thermischen Isolierung und zur Gasführung, beispielsweise ein doppelwandiges wassergekühltes Quarzrohr, angebracht. Die Vorrichtung zur Gasführung verhindert u.a. einen unerwünschten seitlichen Gasaustritt durch die Wand des Behälters 13. Vorteilhaft ist darüber hinaus um den Behälter 13 und um die genannten nicht dargestellten Vorrichtungen eine steuerbare Induktionsheizung mit wenigstens einer HF-Induktionsspule 18 vorgesehen, durch die der Behälter 13 induktiv beheizt wird. Auch die Siliziumcarbid-Halbleiter 10_i im Innern des Behälters 13 werden dadurch gleichmäßig beheizt. Es kann aber auch eine Widerstandsheizung vorgesehen sein.
20
25
30

Der in den FIG 1 und 2 dargestellte Behälter 13 ist vorteilhaft aus mindestens zwei Schichten aufgebaut. Eine äußere, tragende Wand bildende Behälterschicht 21 besteht vorzugsweise aus Graphit. Dadurch kann der Behälter 13 besonders gut über die HF-Induktionsspule aufgeheizt werden, da die gute Leitfähigkeit von Graphit die Ausbildung von Wirbelströmen
35

begünstigt, und es als Folge davon zu einer Erwärmung des Behälters 13 kommt. Andererseits stellt die äußere Behälter-
schicht 21 aus Graphit einen sehr guten schwarzen Strahler
dar, über den die aktuelle Temperatur des Behälters 13 auf
5 einfache Weise berührungslos detektiert werden kann. Im Inneren des Behälters 13 ist es dagegen vorteilhafter, eine Beschichtung 20 (siehe FIG 2) aus Tantal oder Tantalcarbid vorzusehen, da der Gasstrom 12 vorteilhafterweise keine Kohlenstoffatome aus der Behälterinnenwand aufnehmen und den Siliziumcarbid-Halbleitern 10_i zuführen sollte. Die Dicke dieser
10 Beschichtung ist im allgemeinen größer als 0,01 mm. Im Gegensatz zu bekannten Vollgraphitbehältern oder mit Siliziumcarbid beschichteten Graphitbehältern wird dadurch das unerwünschte Wachstum der kristallographischen Stufen unter-
15 drückt. Für die Beschichtung 20 kommen unter Berücksichtigung der speziellen Prozeßbedingungen beim thermischen Ausheilen auch andere Metalle oder Metallverbindungen in Frage. Außer den bereits genannten eignen sich demzufolge besonders Metalle oder Metallverbindungen, die zumindest Anteile von Wolfram, Molybdän, Niob, Rhenium, Osmium, Iridium, oder deren
20 Carbiden enthalten. Genau wie der Behälter 13 besteht auch der Träger 16, der die Siliziumcarbid-Halbleiter 10_i aufnimmt, ganz oder zumindest an den Stellen, die von dem Gasstrom 12 gestreift werden, bevorzugt aus den vorgenannten Metallen oder Metallverbindungen. Der Träger 16 kann auf einer
25 Bodenplatte 17 stehen, die vorteilhaft ebenfalls zumindest an der Oberfläche, die dem vom Gasstrom durchflossenen Bereich zugewandt ist, mit einer Beschichtung 20 aus den vorgenannten Metallen oder Metallverbindungen versehen ist. An den Stirn-
30 seiten des Behälters 13 sind im Behälterinnenraum Strahlungsschilde 14 und 15 mit Öffnungen 19 vorgesehen, durch die der Gasstrom 12 ein- und ausgeleitet wird. Die Strahlungsschilde 14 und 15 bestehen bevorzugt aus mehreren Einzelelementen, beispielsweise aus hintereinander aufgestellten Lochscheiben,
35 die bevorzugt möglichst nahe an die Behälterinnenwand heranreichen. Dadurch werden sie ihrer Bestimmung, den Behälterinnenraum vor Wärmeverlust durch Abstrahlung zu schützen, be-

sonders gut gerecht. Die Strahlungsschilde 14 und 15 bestehen vorzugsweise wiederum aus den vorgenannten Metallen oder Metallverbindungen.

- 5 In einer anderen nicht dargestellten bevorzugten Ausführungsform sind der Behälter 13 und die Bodenplatte 17 nicht zwei- sondern einschichtig ausgebildet, wobei die eine Schicht dann aus den vorgenannten Metallen oder Metallverbindungen besteht.

10

- Als besonders vorteilhaft hat es sich erwiesen, wenn der Gasstrom 12 beim Passieren des Strahlungsschildes 14 beispielsweise durch eine vorteilhafte Formgebung der Einzelelemente vorgewärmt wird, so daß der Gasstrom 12 die Siliziumcarbid-Halbleiter 10₁ nicht unerwünschterweise kühlt. Denn durch die Einhaltung der als vorteilhaft erkannten Temperaturverläufe an den Siliziumcarbid-Halbleitern 10₁ lassen sich besonders gute Resultate beim Ausheilen der Implantationsschäden erzielen. Als Folge davon resultieren ein verbessertes Sperrverhalten von p-n-Übergängen, die beispielsweise in die Siliziumcarbid-Halbleiter 10₁ bei den vorangegangenen, hier nicht dargestellten Dotierungsprozessen eingebracht worden sein können.

- 25 Anstatt der in den FIG 1 und 2 dargestellten Anordnung in einer Reihe können die Siliziumcarbid-Halbleiter 10₁ vorzugsweise auch zueinander seitlich versetzt plaziert werden. In einer weiteren nicht dargestellten Ausführungsform können die auszuheilenden Oberflächen der Siliziumcarbid-Halbleiter 10₁ anstelle der in den FIG 1 und 2 gezeigten senkrechten Ausrichtung vorteilhaft auch gedreht, geneigt oder insbesondere parallel zur Hauptflußrichtung des Gasstroms 12 angeordnet sein. Diese Ausführungsformen führen zu einer besseren und gleichmäßigeren Umströmung, so daß die aus den Siliziumcarbid-Halbleitern 10₁ austretenden Kohlenstoff- und Siliziumatome leichter vom Gasstrom 12 erfaßt und abtransportiert werden können. Das unerwünschte Wachstum der kristallographisch

orientierten Stufen wird somit vermieden. Besonders einfach gelangt man zu der parallelen Ausführungsvariante, wenn der in FIG 1 gezeigte Träger 16 in seiner Ausrichtung zum Gassstrom 12 um 90° gedreht wird. In einer weiteren nicht gezeigten Ausführungsform kommt man ohne einen separaten Träger 16 zur Halterung der Siliziumcarbid-Halbleiter 10_i aus. Die Siliziumcarbid-Halbleiter 10_i liegen bei dieser Variante vorteilhaft in Aussparungen der Bodenplatte 17, so daß die auszuheilenden Oberflächen der Siliziumcarbid-Halbleiter 10_i wiederum parallel zur Hauptflußrichtung des Gasstroms 12 orientiert sind. In einer vorteilhaften Variante dieser nicht dargestellten Ausführungsform werden mehrere Bodenplatten 17 mit Aussparungen übereinander gestapelt, so daß ein größerer Durchsatz erreicht werden kann.

Bei der dargestellten Ausführungsform mit zum Gasstrom 12 senkrechter Anordnung der Siliziumcarbid-Halbleiter 10_i hat es sich als besonders günstig erwiesen, mindestens die erste und die letzte Halterungsposition des Trägers 16 mit Dummy-Siliziumcarbid-Halbleitern 11, die eigentlich keinem Ausheilprozeß unterzogen werden müßten, zu bestücken. Diese Dummy-Siliziumcarbid-Halbleiter 11 dienen dazu, alle auszuheilenden Siliziumcarbid-Halbleiter 10_i unter gleichen und reproduzierbaren Gasströmungsbedingungen zu behandeln. Die quasi als Schutzschilde fungierenden Dummy-Siliziumcarbid-Halbleiter 11 schirmen die Siliziumcarbid-Halbleiter 10_i vor Wirbelströmungen ab, die an den beiden Randzonen des Trägers 16 auftreten können. Die Dummy-Siliziumcarbid-Halbleiter 11 wirken außerdem als zusätzliche Strahlungsschilde.

Ein mit einem thermischen Ausheilverfahren gemäß der Erfindung ausgeheilte Siliziumcarbid-Halbleiter kann vorteilhaft zum Aufbau verschiedener Halbleiterbauelemente, vorzugsweise von Leistungshalbleiterbauelementen auf Siliziumcarbid-Basis eingesetzt werden. Beispiele für solche Halbleiterbauelemente sind p-n-Dioden, bipolare Transistoren, MOSFETs, Thyristoren, IGBTs oder auch MCTs.

Ferner können der Implantationsprozeß und der Ausheilprozeß nacheinander in einer einzigen für beide Prozesse ausgelegten Anlage durchgeführt werden.

Patentansprüche

1. Verfahren zum thermischen Ausheilen von wenigstens einem durch Implantation dotierten Siliziumcarbid-Halbleiter in einem Gasstrom, d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , daß diesem wenigstens einen Siliziumcarbid-Halbleiter (10_i) über den Gasstrom (12) praktisch kein Kohlenstoff zugeführt wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , daß ein Gasstrom (12) vorgesehen wird, der zumindest zeitweise wenigstens ein Inertgas und/oder Stickstoff enthält.
3. Verfahren nach Anspruch 2, d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , daß als Inertgas Argon oder Helium vorgesehen wird.
4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , daß ein Gasstrom (12) vorgesehen wird, der zumindest zeitweise Wasserstoff enthält.
5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , daß dem Gasstrom (12) zur Dotierung des wenigstens einen Siliziumcarbid-Halbleiters (10_i) verwendete Elemente zugesetzt werden.
6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , daß eine Strömungsgeschwindigkeit des Gases zwischen 0,5 cm/s und 60 cm/s, vorzugsweise zwischen 5 cm/s und 25 cm/s eingestellt wird.
7. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , daß an dem wenigstens einen Siliziumcarbid-Halbleiter (10_i) eine Gasatmosphäre mit einem statischen Prozeßdruck zwischen 5000 Pa und

100000 Pa, vorzugsweise zwischen 10000 Pa und 50000 Pa ausgebildet wird.

8. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, d a -
5 d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , daß der wenigstens eine Siliziumcarbid-Halbleiter (10₁) mittels eines Trägers (16) innerhalb eines Behälters (13) gehalten wird, wobei der Träger (16) und der Behälter (13) zumindest in den Bereichen, die mit dem Gasstrom (12) in Kontakt treten, aus
10 wenigstens einem Metall oder wenigstens einer Metallverbindung bestehen.

9. Verfahren nach Anspruch 8, d a d u r c h g e k e n n -
z e i c h n e t , daß innerhalb des Behälters (13) jeweils
15 mindestens ein Strahlungsschild (14, 15) bezogen auf die Richtung des Gasstroms vor und nach dem Träger (16) vorgesehen werden, wobei die Strahlungsschilde (14, 15) zumindest in den Bereichen, die mit dem Gasstrom (12) in Kontakt treten, aus wenigstens einem Metall oder wenigstens einer
20 Metallverbindung bestehen.

10. Verfahren nach Anspruch 9, d a d u r c h g e -
k e n n z e i c h n e t , daß in den Strahlungsschilden (14, 15) Öffnungen (19) vorgesehen werden, durch die der
25 Gasstrom (12) hindurchtritt.

11. Verfahren nach einem der Ansprüche 8 bis 10, d a -
d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , daß ein Metall oder eine Metallverbindung mit einem Schmelzpunkt über 1800°C
30 vorgesehen wird.

12. Verfahren nach einem der Ansprüche 8 bis 11, d a -
d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , daß ein Metall oder eine Metallverbindung mit einem Dampfdruck kleiner als
35 10⁻² Pa bei einer Temperatur von 1800°C vorgesehen wird.

13. Verfahren nach einem der Ansprüche 8 bis 12, d a -
d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , daß ein gegen
Wasserstoff resistentes Metall oder eine gegen Wasserstoff
resistente Metallverbindung vorgesehen wird.

5

14. Verfahren nach einem der Ansprüche 8 bis 13, d a -
d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , daß ein Metall
oder eine Metallverbindung vorgesehen wird, die mindestens
eines der Elemente Tantal, Wolfram, Molybdän, Niob, Rhenium,
10 Osmium, Iridium oder ein Carbid wenigstens eines der Elemente
enthält.

15

15. Verfahren nach einem der Ansprüche 8 bis 14, d a -
d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , daß der Behälter
(13) vorzugsweise induktiv beheizt wird.

16. Verfahren nach einem der Ansprüche 8 bis 15, d a -
d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , daß der Gasstrom
(12) beim Eintritt in das Behälterinnere vorgewärmt wird.

20

17. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , daß der
wenigstens eine Siliziumcarbid-Halbleiter (10₁) mit einer
Aufheizgeschwindigkeit von höchstens 100°C/min, vorzugsweise
25 von höchstens 30°C/min auf eine Maximaltemperatur von wenig-
stens 1000°C erhitzt wird.

30

18. Verfahren nach Anspruch 17, d a d u r c h g e -
k e n n z e i c h n e t , daß die Maximaltemperatur zwi-
schen 1100°C und 1800°C, vorzugsweise zwischen 1400°C und
1750°C eingestellt wird.

35

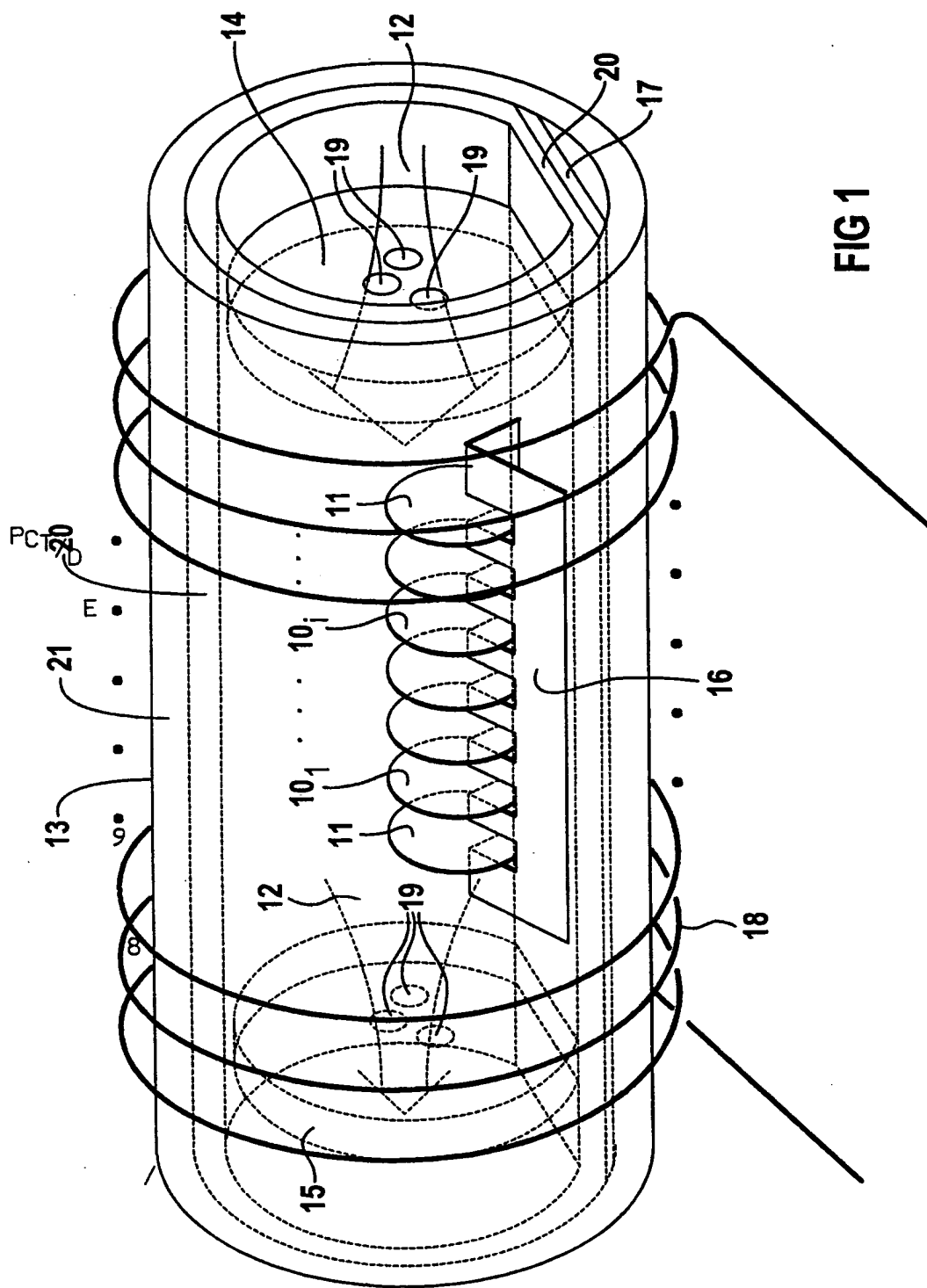
19. Verfahren nach Anspruch 17 oder Anspruch 18, d a -
d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , daß die Tempe-
ratur des wenigstens einen Siliziumcarbid-Halbleiters (10₁)
für ein Zeitintervall zwischen 2 min und 60 min auf der
vorgegebenen Maximaltemperatur gehalten wird.

20. Verfahren nach einem der Ansprüche 17 bis 19, da -
d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , daß der
wenigstens eine Siliziumcarbid-Halbleiter (10₁) ausgehend von
5 der Maximaltemperatur mit einer Abkühlgeschwindigkeit von
höchstens 100°C/min, vorzugsweise von höchstens 30°C/min auf
eine Zwischentemperatur von höchstens 600°C abgekühlt wird.

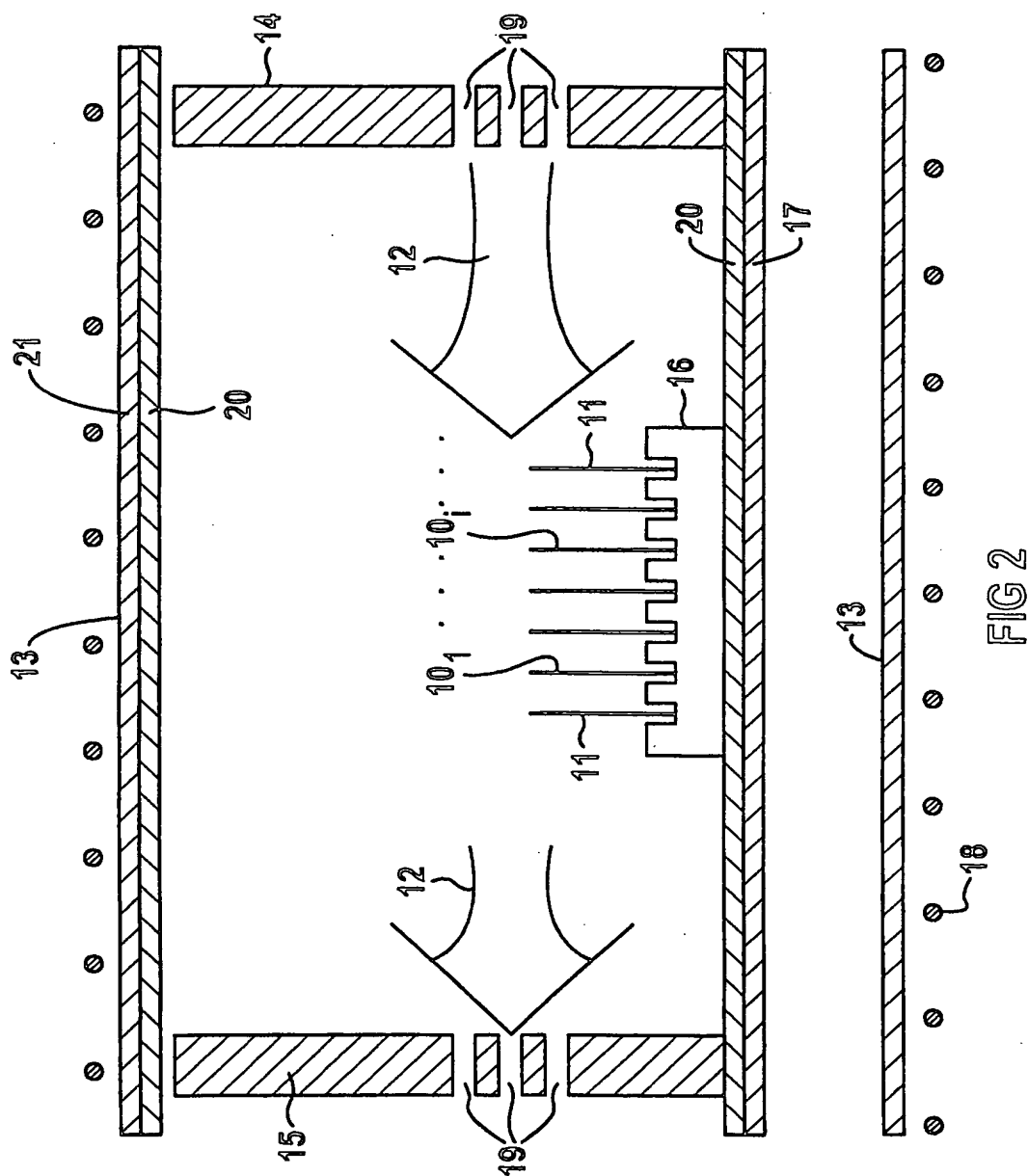
21. Verfahren nach einem der Ansprüche 17 bis 20, da -
10 d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , daß die Tempe-
ratur des wenigstens einen Siliziumcarbid-Halbleiters (10₁)
während des Aufwärm- und Abkühlvorganges jeweils wenigstens
einmal auf jeweils einem Temperaturniveau gehalten wird.

10

1/2



ERSATZBLATT (REGEL 26)



ERSATZBLATT (REGEL 26)

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No

PCT/DE 98/02722

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

IPC 6 H01L21/265 H01L21/324 C30B35/00

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

IPC 6 H01L

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	KIMOTO T ET AL: "ION-IMPLANTATION INTO ASPIRE-SIC EPILAYERS AND APPLICATION TO HIGH-TEMPERATURE, HIGH-VOLTAGE DEVICES" COMPOUND SEMICONDUCTORS 1995. PROCEEDINGS OF THE 22ND. INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON COMPOUND SEMICONDUCTORS, CHEJU ISLAND, KOREA, AUG. 28 - SEPT. 2, 1995, no. SYMP. 22, 28 August 1995, pages 609-614, XP000590342	1-3
Y	JONG-CHUN WOO; YOON SOO PARK (EDS)	4, 17-20
A	see page 609 see page 610 ----- -/--	15

☒ Further documents are listed in the continuation of box C.☐ Patent family members are listed in annex.

* Special categories of cited documents:

- "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- "E" earlier document but published on or after the international filing date
- "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

14 January 1999

Date of mailing of the international search report

01/02/1999

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5618 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Gélébart, J

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No

PCT/DE 98/02722

C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	BEHNER H ET AL: "Surface composition of CVD-grown alpha -SiC layers-an XPS and LEED study" APPLIED SURFACE SCIENCE, MAY 1996, ELSEVIER, NETHERLANDS, vol. 99, no. 1, pages 27-33, XP002090046 ISSN 0169-4332 cited in the application see paragraph 3.6 -----	4
Y	RAO M V ET AL: "PHOSPHOROUS AND BORON IMPLANTATION IN 6H-SiC" JOURNAL OF APPLIED PHYSICS, vol. 81, no. 10, 15 May 1997, pages 6635-6641, XP000658301 see page 6636, right-hand column -----	17-20

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen

PCT/DE 98/02722

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
IPK 6 H01L21/265 H01L21/324 C30B35/00

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPK

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)
IPK 6 H01L

Recherchierte aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	KIMOTO T ET AL: "ION-IMPLANTATION INTO ASPIRE-SIC EPILAYERS AND APPLICATION TO HIGH-TEMPERATURE, HIGH-VOLTAGE DEVICES" COMPOUND SEMICONDUCTORS 1995. PROCEEDINGS OF THE 22ND. INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON COMPOUND SEMICONDUCTORS, CHEJU ISLAND, KOREA, AUG. 28 - SEPT. 2, 1995, Nr. SYMP. 22, 28. August 1995, Seiten 609-614, XP000590342	1-3
Y	JONG-CHUN WOO; YOON SOO PARK (EDS)	4, 17-20
A	siehe Seite 609 siehe Seite 610 --- -/-	15

☒ Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen

☐ Siehe Anhang Patentfamilie

- * Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :
- "A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist
 - "E" Älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist
 - "L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)
 - "O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht
 - "P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

"T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

"X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden

"Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

"&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

14. Januar 1999

Absenddatum des internationalen Recherchenberichts

01/02/1999

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde
Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax: (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Gélébart, J

C.(Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
Y	BEHNER H ET AL: "Surface composition of CVD-grown alpha -SiC layers-an XPS and LEED study". APPLIED SURFACE SCIENCE, MAY 1996, ELSEVIER, NETHERLANDS, Bd. 99, Nr. 1, Seiten 27-33, XP002090046 ISSN 0169-4332 in der Anmeldung erwähnt siehe Absatz 3.6	4
Y	RAO M V ET AL: "PHOSPHOROUS AND BORON IMPLANTATION IN 6H-SiC" JOURNAL OF APPLIED PHYSICS, Bd. 81, Nr. 10, 15. Mai 1997, Seiten 6635-6641, XP000658301 siehe Seite 6636, rechte Spalte	17-20

